

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента на диссертацию**

**Маслова Алексея Леонидовича**

**«Моделирование подземной газификации сланцев»,**

**представленной на соискание ученой степени кандидата физико-**

**математических наук по специальности**

**01.04.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества**

Диссертационная работа посвящена математическому моделированию выделения углеводородов из сланцевых пород путем нагревания с учетом химических реакций. Поэтому она является актуальной.

Работа состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка литературы из 83 наименований, содержит 67 рисунков, 13 таблиц. Общий объем диссертации 102 страницы.

В первой главе проведен обзор литературы по исследованию теплофизических свойств сланцев и закономерностей их термического разложения. Рассмотрены некоторые существующие модели разложения сланцев.

Во второй главе рассмотрены теплофизические модели нагрева сланцев без учета химических реакции при их разложении. Решены задачи о нагреве образцов сланца в форме прямоугольной пластины (двумерная постановка) и параллелепипеда (трехмерная постановка). Делается вывод о возможности интенсивного разложения керогена в переменном электромагнитном поле напряженностью порядка десятков кВ/м за время порядка  $10^5$ – $10^6$  секунд.

В третьей главе исследовано влияние разложение прямоугольной сланцевой пластины с использованием простейшей одностадийной кинетической схемы реакций вида «реагент – продукт». Такая модель позволяет формально учесть образование продуктов, и тепловые эффекты

химических реакций. Делается вывод о необходимости учета различий в свойствах образующихся продуктов, процессов их переноса, и использовании более полной кинетической схемы реакций.

В четвертой главе рассмотрена наиболее общая постановка задачи. Сланцевый пласт представляется плоскостью, в которой при нагреве происходит несколько последовательно-параллельных реакций. Математическая модель в этом случае включает уравнение теплопроводности для твердой фазы, уравнение теплопереноса для газа, нелинейное уравнение состояния, уравнения движения и химической кинетики, и соответствующие граничные и начальные условия. Все химические реакции имеют первый порядок, а их скорости удовлетворяют закону Аррениуса. В рамках двухтемпературной модели проведено исследование нагрева сланцевого слоя погруженными в него равномерно расположенными электродами. Делаются выводы о наличии различных режимов разложения, переходах между ними при различных значениях параметров.

**По содержанию диссертации можно сделать следующие замечания:**

1. Поскольку образец сланца нагревается с помощью переменного электромагнитного поля, то комплексной будет не только диэлектрическая проницаемость, но и удельная электрическая проводимость, (в том числе и импеданс). Видимо, в диссертации используется какая-то эффективная вещественная проводимость, вычисляемая с помощью импеданса. Необходимые пояснения отсутствуют.
2. При вычислении нагрева вводятся значения потенциалов  $\pm\varphi_0$  на электродах, но в финальных формулах для электрического поля на странице 35 эти значения потенциала не участвуют.
3. На странице 46 приведены на рисунке 2.12 четыре кривые, но пояснения даны только к двум кривым.
4. В начале главы 3 вводится функция, называемая степенью превращения. Необходимо было бы пояснить, что во что превращается. Можно

догадаться, что это концентрация. Но остается вопрос какая это концентрация- объемная, массовая или молярная?

5. В главе 4 без всякого пояснения используется то же электромагнитное поле, что и в предыдущих главах. Здесь возникает вопрос о правомерности такого подхода. Дело в том, что в главе 4 рассматривается фактически электрокомпозит, у которого компоненты имеют различные диэлектрические постоянные для твердой и газовой фаз. Электрическое поле должно зависеть от диэлектрической проницаемости компонентов. Более того, известно, что в переменном электромагнитном поле на границе раздела фаз (где «рвется»  $\epsilon$ ) всегда возникают поверхностные заряды (могут и возникать поверхностные токи). Это приводит к тому, что эффективная (средняя) диэлектрическая проницаемость зависит от частоты, т.е. имеет место эффект частотной дисперсии. Все эти эффекты не учтены.
6. В главе 4 закон Дарси выражается формулой (4.10), в которой коэффициент  $K_f$  приведен без пояснения. Возникает вопрос о его значении и величине. Дело в том, что в диссертации газ считается невязким. По размерности этот коэффициент является мобильностью, а не проницаемостью.

Изложенные в отзыве замечания не умаляют ценности результатов А.Л. Маслова. Достоверность результатов работы обеспечена физически обоснованной постановкой задач, использованием общепринятых представлений о кинетике процессов термического разложения сланцев, качественным согласием результатов с экспериментальными данными, использованием хорошо проверенных численных методов. Новизна предлагаемой в работе математической модели термического разложения горючих сланцев состоит в использовании уравнения состояния, в явном виде учитывающего концентрационное расширение газообразных продуктов.

Основные результаты работы опубликованы в 6 статьях в рецензируемых научных журналах и 9 в тезисах научных конференций и симпозиумов.

Диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Выводы и рекомендации в целом достаточно обоснованы. Работа отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК при Минобрнауки России к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества. Считаю, что Маслов Алексей Леонидович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

15 августа 2018 г.

Официальный оппонент – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией фильтрации ФГБУН «Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева» СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 15. Тел.:+7(383) 333-16-12, адрес электронной почты: shelukhin@hydro.nsc.ru.

Шелухин Владимир Валентинович \_\_\_\_\_ / (подпись с расшифровкой)

Я, Шелухин Владимир Валентинович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Маслова А.Л. и их дальнейшую обработку \_\_\_\_\_ / Шелухин В.В.  
(подпись с расшифровкой)

Подпись Шелухина Владимира Валентиновича заверяю:

Членом секретариата

/ Любашевская И.В.